

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 555 683**

51 Int. Cl.:

G01B 7/16 (2006.01)

G01L 1/00 (2006.01)

G01N 29/12 (2006.01)

G01N 29/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2005 E 05724643 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.09.2015 EP 1802938**

54 Título: **Infraestructura de sensor con electrónica integrada**

30 Prioridad:

07.10.2004 US 616748 P

07.10.2004 US 616705 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

07.01.2016

73 Titular/es:

METIS DESIGN CORPORATION (100.0%)

222 THIRD STREET, SUITE 3121

CAMBRIDGE, MA 02142, US

72 Inventor/es:

KESSLER, SETH S.;

JUGENHEIMER, KRISTIN A. y

SIZE, AARON B.

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 555 683 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Infraestructura de sensor con electrónica integrada

La invención se refiere en general al sector de sistemas de detección, monitorización, detección de daños y sistemas de monitorización de la salud estructural, desactivados en aplicaciones aeroespaciales, de automoción, navales, civiles u otras.

Los métodos conocidos de métodos de laboratorio de pruebas estructurales no destructivas (NDT, non-destructive testing), tales como detección de rayos X y barridos de tipo C, no son prácticos para la inspección de mantenimiento de estructuras construidas, debido al tamaño y a la complejidad de su infraestructura. La monitorización de la salud estructural (SHM, Structural Health Monitoring) involucra la incorporación de métodos de prueba no destructivos en una estructura para proporcionar una monitorización remota continua de daños. Los sistemas SHM son sistemas que tienen la capacidad de detectar e interpretar cambios adversos en una estructura, tal como en un aeroplano u otra aeronave, automóviles y aplicaciones navales, por ejemplo. Los sistemas SHM que se han implementado en las diversas industrias incluyen generalmente la adhesión de galgas extensométricas o termopares para monitorizar cambios en la deformación, la frecuencia y la temperatura. Son formas conocidas de SHM las "cajas negras" en aeronaves, que recogen datos críticos del vuelo.

Kessler S.S. et al., en el documento "Packaging of Structural Health Monitoring Components", Proc. Of SPIE: Smart Structures and Materials, volumen 5391, XP009147986, 29 de julio de 2004, describen un sistema de monitorización de la salud estructural para la detección de daños en materiales compuestos.

La publicación de patente U.S.A. número 2003/196485 A1 describe un sensor de tipo lámina para medir la distribución de tensiones, que incluye una parrilla de elementos que cambian su resistencia cuando son sometidos a deformación.

La invención se refiere a un sensor de detección de daños que proporciona componentes empaquetados para facilitar la detección de daños utilizando diversos sensores y métodos de detección. Una realización de la invención incluye un dispositivo para su utilización en la detección de un evento en una estructura, comprendiendo el dispositivo un encapsulado de sensor, comprendiendo el encapsulado un sensor, un accionador situado sustancialmente en el mismo plano que el sensor en el interior del encapsulado de sensor, estando configurado el accionador para excitar formas de onda en la estructura sensibles a una excitación, y estando configurado el sensor para recibir ondas reflejadas propagadas por la estructura en respuesta a las formas de onda, y una placa de circuito impreso en comunicación, por lo menos, con uno del sensor y el accionador. La placa de circuito impreso incluye un microprocesador construido y dispuesto para recoger datos, por lo menos, desde uno del sensor y el accionador, un generador de señal construido y dispuesto para proporcionar excitación, por lo menos, a uno del sensor y el accionador, y un amplificador para modificar la excitación.

Las implementaciones de la invención pueden incluir una o varias de las características siguientes. El sensor puede incluir un sensor que mida por lo menos una de la tensión, la deformación, la vibración, la acústica, la temperatura, la humedad, la presión, la aceleración, la posición, la rotación, la radiación, los campos eléctricos, los campos magnéticos, la luz o el movimiento. El dispositivo puede incluir un conector para proporcionar potencia y una conexión de datos entre el dispositivo y un bus de red de sensores. El conector puede incluir un conector micro-USB. El dispositivo puede incluir asimismo un chip inalámbrico situado en el encapsulado de sensor. El dispositivo puede incluir una batería de iones de litio de película delgada para suministrar potencia al dispositivo. El microprocesador puede estar configurado para recoger datos analógicos, por lo menos, desde uno del sensor y el accionador, y configurado además para transformar los datos analógicos en datos digitales. Los datos digitales se pueden almacenar localmente.

Otras implementaciones de la invención pueden incluir una o varias de las características siguientes. El encapsulado de sensor puede incluir un anillo cilíndrico exterior y una tapa, y donde el sensor y el accionador se pueden situar en el anillo cilíndrico. El sensor puede tener, por lo menos, una de una geometría que incluye triangular, circular, semicircular, cuadrada, rectangular, octogonal, hexagonal y de sector circular. El accionador puede tener, por lo menos, una de una geometría que incluye triangular, circular, semicircular, cuadrada, rectangular, octogonal, hexagonal y de sector circular. El accionador puede rodear el sensor sustancialmente en su totalidad. El sensor puede rodear el accionador sustancialmente en su totalidad. El dispositivo puede incluir una serie de sensores situados conjuntamente por lo menos en una oblea piezoeléctrica, donde la serie de sensores están rodeados colectivamente, por lo menos en parte, por el accionador. El dispositivo puede incluir una serie de accionadores situados conjuntamente, por lo menos, en una oblea piezoeléctrica, donde la serie de accionadores están rodeados colectivamente, por lo menos en parte, por el sensor. El sensor puede proporcionar una detección radial, sustancialmente de 360°, de incidencias estructurales en un material.

Para obtener prácticamente todos los beneficios económicos y de diseño de la SHM, los diversos componentes que constituyen la infraestructura del sensor se integran en un paquete pequeño, y se desarrolla una arquitectura. Los componentes pueden incluir un microprocesador para pruebas de comandos, un generador de funciones para excitar los accionadores, un amplificador para aumentar la intensidad de la señal, un chip de adquisición para recoger datos, alimentación, conectores, un estándar de comunicación, apantallamiento frente interferencia eléctrica y magnética, y un cuerpo envolvente para proteger y empaquetar los componentes.

La invención proporciona una o varias de las siguientes capacidades. La infraestructura de detección de daños se puede fabricar en masa a coste reducido, y personalizar para cualquier aplicación de software. La infraestructura se puede desactivar ampliamente en aplicaciones aeroespaciales, de automoción, navales y civiles, o en cualquier campo en el que se requiera un único sensor o una red distribuida de sensores para recoger datos. La infraestructura se puede integrar en estructuras antiguas o en estructuras de nuevo diseño. La invención puede permitir la eliminación de inspecciones programadas. El diseño estructural se puede mejorar con una mayor fiabilidad y unos costes del ciclo de vida útil reducidos. Las realizaciones de la invención se pueden fabricar sin la utilización de soldadura y cables expuestos. Se puede conseguir la detección con menos sensores sin limitar el alcance sobre el que se desea la detección. Las realizaciones de la invención se pueden implementar como un sistema de monitorización continua, que puede requerir menos intervención humana. Resultarán evidentes otras posibilidades tras una revisión de las figuras y de la siguiente descripción detallada.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La figura 1 es una vista del montaje de un dispositivo de detección de daños.

La figura 2 es una vista en perspectiva superior de la parte interna de un dispositivo de detección de daños montado.

La figura 3 es un dibujo del montaje de la pila de piezoeléctricos contenida en el cuerpo envolvente de un dispositivo de detección de daños.

La figura 4A es una parte de la pila de piezoeléctricos de la figura 3.

La figura 4B es una vista en perspectiva lateral de una parte de la pila de piezoeléctricos de la figura 3.

La figura 5A incluye geometrías alternativas para un sensor rodeado sustancialmente por un accionador.

La figura 5B incluye geometrías alternativas para un accionador rodeado sustancialmente por un sensor.

La figura 6A es un esquema de un sistema cableado acoplado a una estructura.

La figura 6B es un esquema de un sistema inalámbrico acoplado a una estructura.

La figura 7 es un diagrama de flujo de un proceso de utilización de un dispositivo según la figura 1.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCIÓN

A continuación se describirán más particularmente las características y otros detalles de la invención. Se sobreentenderá que las realizaciones particulares descritas en la presente se muestran a modo de ilustración y no como limitaciones de la invención. Las características principales de esta invención pueden ser utilizadas en diversas realizaciones, sin apartarse del alcance de la invención.

Las realizaciones de la invención están dirigidas a sensores y accionadores situados concéntricamente. Las realizaciones de la invención pueden estar dirigidas a un sensor y un accionador basados en piezoeléctricos para su utilización facilitando la detección de daños, pruebas no destructivas ("NDT") y monitorización de la salud estructural ("SHM") utilizando diversos sensores y métodos de detección. Las realizaciones de la invención pueden incluir sistemas de detección de daños que utilizan uno o más de un detector de daños piezoeléctrico. Las realizaciones de la invención pueden estar dirigidas a una infraestructura para su utilización en la monitorización de una estructura. Las realizaciones de la invención se refieren a una colección de componentes eléctricos y mecánicos necesarios para realizar métodos de detección de daños in situ. Las realizaciones de la invención se pueden implementar como sistemas cableados o como sistemas inalámbricos. Las realizaciones de la invención pueden ser utilizadas en la SHM de aeronaves, naves espaciales, embarcaciones navales y automóviles. Las realizaciones de la invención pueden ser utilizadas en otras estructuras que utilizan redes de sensores y para realizar procedimientos de prueba diferentes a los procedimientos NDT y SHM. Por ejemplo, las realizaciones de la invención pueden ser utilizadas para una evaluación, medición, monitorización del uso (HUMS, por sus siglas en inglés), seguridad, vigilancia, monitorización de condiciones o control de calidad no destructivos. Las realizaciones de la invención pueden ser utilizadas para otras aplicaciones.

Haciendo referencia a la figura 1, un nodo del sensor 5 incluye una tapa superior 18 que tiene una junta tórica 20, una placa de circuito impreso (PCB, por sus siglas en inglés) 22, un émbolo 24, un cuerpo envolvente 16, un circuito flexible que tiene una parte superior 26 y una parte inferior 28, y un par de sensor 50 y accionador 51. En adelante, el par de sensor 50 y accionador 51 se puede denominar asimismo una oblea piezoeléctrica 29. La tapa 18 y el cuerpo envolvente 16 se unen para formar un receptáculo para los componentes electrónicos del nodo 5. La PCB 22 está protegida por la junta tórica estanca 20 y el émbolo 24 en el interior del cuerpo envolvente 16. La parte superior del circuito flexible 26 está situada sobre la oblea piezoeléctrica 29. La parte inferior 28 está situada por debajo de la oblea 29. El circuito flexible 26 y 28 proporciona la alimentación y las conexiones de datos hacia y desde la oblea 29. Una pila de piezoeléctricos 30 (mostrada en la figura 3) incluye el circuito flexible 26, 28 y la oblea 29.

La PCB 22 recoge datos mediante una conexión con el sensor 50. Por ejemplo, la PCB 22 incluye componentes electrónicos para recoger datos analógicos, transformar los datos de tensión analógicos en datos digitales, y almacenar localmente los datos en una memoria también con una tasa de actualización y resolución de bits altos.

Las realizaciones de la PCB 22 podrían recoger asimismo otras mediciones analógicas de corriente o de resistencia, así como señales digitales directas. La PCB 22 puede incluir un registrador de datos integrado capacitado, por ejemplo, para una adquisición a 1 MHz en 2 canales de 1000 puntos por canal, con un margen dinámico de 10 mV a 10 V. La PCB 22 incluye asimismo componentes electrónicos para facilitar la excitación del sensor 50 o del accionador 51, con formas de onda arbitrarias fijas o programables. La PCB 22 puede contener un generador de señal capacitado para una generación de funciones arbitrarias de 1 MS/s y 20 Vpp, de hasta 1000 puntos en 2 canales, por ejemplo. Puede estar incluido un amplificador u otros componentes electrónicos para modificar la señal, tal como modificar la excitación y las tensiones de sensor resultantes.

Los nodos pueden tener una dirección nodal única a la que se puede acceder directamente o bien mediante internet para recoger la información crítica relativa al nodo del sensor, incluyendo datos de la versión, de la fecha de fabricación, de la revisión de diseño, del funcionamiento, de fiabilidad y de certificación. Algunas realizaciones de la invención pueden incluir un microprocesador dentro del nodo del sensor 5 situado en la PCB 22, que puede recibir remotamente datos de comandos para iniciar las verificaciones de la detección de daños, así como cargar nuevas microinstrucciones inalterable para controlar componentes internos o software para localizar e interpretar datos.

Haciendo referencia a la figura 2, un receptáculo 10 proporciona una interfaz entre el sensor 50 y la estructura a la que está conectado el nodo 5 para monitorización. Cuando está montado, el nodo 5 puede proporcionar una unidad integrada de detección para transmitir información acerca de una estructura. El nodo del sensor que incluye la oblea piezoeléctrica 29 está montado en el receptáculo 10. El receptáculo 10 se compone del cuerpo envolvente cilíndrico 16 y de la tapa superior 18. El cuerpo envolvente 16 incluye la junta tórica interior 20 y una ranura 32 de la junta tórica, un anillo 34 de conexión a tierra, un conector mini-USB y unas aberturas 36. Las aberturas 36 están situadas para admitir microconectores, tales como el conector 12 y el conector 14. Las aberturas 36 de los conectores USB aceptan conectores USB que completan la conexión conjugada con la parte interna del receptáculo 10 y se extienden a una parte externa del nodo 5. Las aberturas 36 se pueden situar en lados opuestos del cilindro 16. La ranura 32 de la junta tórica está situada sobre una cara superior del cilindro 16 y aloja una junta tórica 61. La junta tórica 20 proporciona un cierre que es preferentemente impermeable para impedir que entre humedad al receptáculo 10.

Una parte superior del cuerpo envolvente 16 puede estar roscada sobre una cara interna del cuerpo envolvente 16, por ejemplo. La tapa superior 18 puede ser una parte plana que tiene un reborde roscado para acoplar con las roscas del cilindro 16. Como alternativa, la tapa superior 18 y el cuerpo envolvente 16 se pueden encajar en una serie de medios de cierre conocidos. Como alternativa, la tapa 18 puede estar diseñada para completar el receptáculo 10 incluyendo ajustes a presión encolados, tapón de rosca y leva de fijación, incorporando preferentemente juntas tóricas para proporcionar un cierre.

El receptáculo 10 proporciona una barrera para los componentes electrónicos del nodo 5. El receptáculo 10 puede incluir un cuerpo envolvente de plástico de baja absorción de la humedad. Por ejemplo, se puede utilizar como material del cuerpo envolvente un plástico de baja densidad, baja absorción de la humedad y moldeable, tal como Acetal (por ejemplo, Delrin). El receptáculo 10 proporciona un cierre para empaquetar cada componente de la infraestructura del nodo 5, lo que protege los componentes frente a daños de impactos accidentales, cierra los componentes a la humedad y aísla el sensor 50 frente a grandes deformaciones inducidas sobre la estructura o los cables. El receptáculo 10 puede proporcionar protecciones o barreras adicionales para el nodo 5. Las dimensiones nominales para este receptáculo 10 pueden ser, por ejemplo, aproximadamente 1,5" de diámetro y 0,3" de altura con un grosor de la pared de 0,1", aunque en función de la naturaleza de la aplicación, el receptáculo 10 puede ser menor o mayor en cualquier dimensión. Preferentemente, el receptáculo 10 del dispositivo de detección tiene un diámetro exterior de aproximadamente 1,6 pulgadas y un volumen total menor de 1 pulgada cúbica. La altura del receptáculo puede ser de aproximadamente 0,5 pulgadas.

El receptáculo 10 puede perdurar frente a una gran variedad de disolventes comunes, incluyendo combustibles, aceites, pintura, acetona y soluciones limpiadoras, así como a otros productos químicos. El receptáculo 10 puede funcionar en condiciones térmicas entre -50 °F y 250 °F. El receptáculo 10 puede estar diseñado para funcionar en condiciones térmicas por debajo de -50 °F o por encima de 250 °F. El receptáculo 10 que contiene el nodo 5 se puede adherir a una estructura utilizando un adhesivo de película termoendurecible o termoplástica, o utilizando cualquier epoxi tradicional. Se pueden utilizar otros adhesivos. El receptáculo 10 está además fabricado preferentemente para resistir un esfuerzo de 2000 partes por millón y puede tener una tolerancia a las resonancias de vibraciones de 66 Hz o mayor.

En una vista ampliada, en la figura 3, una pila de piezoeléctricos 30 está contenida en el receptáculo 10 e incluye una pantalla 40 de Kapton™ recubierto de cobre, una película adhesiva 42, un electrodo 44 de Kapton™ recubierto de cobre, un adhesivo eléctricamente conductor 46, una segunda capa adhesiva de película 48, el sensor piezoeléctrico 50 y el accionador 51, una tercera capa adhesiva de película 52 que tiene una parte eléctricamente conductora 53, una capa de película de poliéster 54 y una cuarta capa adhesiva de película 56. La pantalla 40 de Kapton™ recubierto de cobre es una capa de Kapton™ recubierto de cobre que proporciona una superficie aislante en el lado superior y una pantalla EMI (por sus siglas en inglés) en el lado inferior. La película adhesiva 42 puede ser un aislante que se puede unir con Kapton™ recubierto de cobre. Por ejemplo, la película adhesiva 42 puede ser una película adhesiva 3M™ 3132. El electrodo 44 de Kapton™ recubierto de cobre es una capa de Kapton™ recubierto de cobre. La configuración del electrodo se puede crear utilizando cloruro férrico. El electrodo 44 de Kapton

recubierto de cobre proporciona contactos tanto al sensor 50 como al accionador 51. El electrodo 44 de Kapton™ recubierto de cobre puede proporcionar asimismo un bucle a tierra de apantallamiento entre el sensor 50 y el accionador 51. El bucle a tierra puede impedir el ruido parásito en el plano. El adhesivo eléctricamente conductor 46 y la segunda capa adhesiva de película 48 conectan los contactos del sensor piezoeléctrico 50 y del accionador 51. El adhesivo 46 y la segunda capa adhesiva de película 48 se pueden disponer para evitar un cortocircuito. La tercera capa adhesiva de película 52 proporciona una capa eléctricamente conductora de adhesivo y está situada por debajo de la capa del sensor 50/accionador 51 para proporcionar una conexión común a tierra. La capa de película 54 y la cuarta capa adhesiva de película 56 proporcionan un apoyo semirrígido para el montaje en una estructura que está monitorizando el nodo del sensor 5.

El sensor 50/accionador 51 está controlado por el electrodo de circuito flexible 44. Las capas adhesivas entre el electrodo 44 y el sensor 50/los accionadores 51 conectan cada capa de la pila de piezoeléctricos 30. Las capas adhesivas pueden ser eléctricamente conductoras. Como alternativa, las capas adhesivas pueden conectar con otras capas sin conductividad eléctrica. El sensor piezoeléctrico 50 mide las ondas reflejadas en un material sobre el que está situado el sensor. Los sensores pueden registrar, por ejemplo, variables tales como la deformación, la aceleración, las ondas de sonido, la impedancia eléctrica o magnética, la presión o la temperatura. El accionador 51 excita formas de onda en un material para crear ondas reflejadas que mide el sensor 50.

El nodo 5 puede ser utilizado como un dispositivo inalámbrico, tal como se muestra en la figura 3. En la figura 3, el receptáculo 10 incluye un transceptor inalámbrico 58 y una batería 59. El transceptor 58 recibe comandos y transmite datos. La batería 59 puede ser una batería de polímero de iones de litio de película delgada recargable, para proporcionar potencia. Se puede utilizar un bucle inductivo inalámbrico o recolección de energía para recargar la batería 59. Tal como se ha descrito, sin embargo, el nodo del sensor 5 puede ser utilizado como una realización cableada. La infraestructura del sensor utilizada en el sistema cableado incluye un chip de estándares de comunicación, cualquiera de un bus USB, RS485 o CAN, y un conector mini-USB para proporcionar la alimentación y una transferencia de datos digitales, estando todo ello contenido en la PCB 22, por ejemplo, tal como se describe con respecto a la figura 1.

La figura 4A es una vista de montaje expandida que muestra cada una de las capas del circuito flexible que rodea los elementos piezoeléctricos. Están incluidas una capa conductora en la parte superior con una capa de pantalla sobre ésta, y una capa inferior de conexión a tierra. Se muestran asimismo las alas en capas, que transportan la alimentación y la señal del sensor, con pantallas a cada lado. La figura 4B es una versión montada colapsada de la figura 4A.

El circuito flexible del electrodo, mostrado en la figura 4A, controla el sensor 50 y el accionador 51. El circuito flexible del electrodo está situado sobre la capa del sensor 50/accionador 51. Cada una de las capas del circuito flexible está conectada mediante el contacto de las patillas laterales, mostrado en la figura 4B. El circuito flexible 180 proporciona conexiones eléctricas. Se imprime un elemento de Kapton™ recubierto de cobre, de manera que haya conexiones a tierra independientes para el accionador y el sensor, y líneas independientes de conexión a tierra para proporcionar apantallamiento de señales en el plano y fuera del plano. Las alas en el lado del circuito flexible 180 se pliegan. Las alas pueden proporcionar una conexión eléctrica en una posición sustancialmente conveniente durante la fabricación y la integración. Las alas están apantalladas en el plano y fuera del plano. Las alas terminan en conexiones termoselladas o soldadas con la PCB 22, y sirven para transferir la alimentación y los datos hacia y desde la PCB 22 hasta la capa del sensor 50/accionador 51.

La capa del sensor 50/accionador 51 del nodo 5 comprende un sensor circular, concéntrico 50 que tiene un anillo exterior que comprende el accionador 51. El sensor 50 y el accionador 51 son componentes en el mismo plano aptos para su conexión al circuito sin la utilización de cables. Haciendo referencia a la figura 5A, el sensor 50 y el accionador 51 en el mismo plano pueden adoptar una serie de formas alternativas. Por ejemplo, el sensor 50 puede ser circular, semicircular, cuadrado, triangular, rectangular, en forma de sector circular, hexagonal, octogonal y cualquiera de una serie de formas diferentes. El accionador 51 puede adoptar asimismo cualquiera de una serie de formas configuradas para rodear sustancialmente el sensor 50. El diseño sustancialmente concéntrico del sensor 50 y del accionador 51 proporciona un funcionamiento omnidireccional del nodo 5. El diseño sustancialmente concéntrico del sensor 50 y del accionador 51 proporciona un método de detección de pulso/eco. Tener un accionador que rodea un sensor o un conjunto de sensores (o viceversa) permite que se emitan señales excitadas (eléctricas, magnéticas, acústicas, vibratorias u otras) omnidireccionalmente desde una fuente casi puntual, y se tomen mediciones de la respuesta desde casi la misma posición.

Cada uno del sensor 50 y el accionador 51 puede rodear, o rodear sustancialmente el otro. En cada una de las configuraciones alternativas mostradas en la figura 5B, la parte central puede ser el accionador 51, rodeado por un sensor 50 o por más de uno. Por lo tanto, un sensor o un conjunto de sensores pueden estar rodeados por un accionador o un conjunto de accionadores. Como alternativa, un accionador o un conjunto de accionadores pueden estar rodeados por un sensor o un conjunto de sensores en el diseño concéntrico. En algunos sistemas, por lo menos uno de los nodos piezoeléctricos incluye un sensor 50 rodeado por un accionador 51, y por lo menos uno de los nodos piezoeléctricos incluye un accionador 51 rodeado por un sensor 50, donde cada uno de los nodos funciona conjuntamente con el otro u otros para conseguir la detección en el material.

La configuración en el mismo plano del par accionador 51/sensor 50 consigue el contacto con un material a monitorizar o probar, utilizando cinta termoendurecible o termoplástica, epoxi, utilizando un material acoplador o con

una fuerza aplicada externamente. Son posibles y se contemplan otros métodos de contacto por curado a temperatura ambiente o alta. El par accionador 51/sensor 50 puede ser accionado con un campo eléctrico o magnético que se aplica para excitar los modos transversal, axial, de cizalla o radial en el accionador. Este campo se puede aplicar a una cara paralela del accionador 51, o utilizando estructuras de electrodos interdigitados. Se pueden medir datos de tensión del sensor utilizando cualquiera de estos campos. Preferentemente, el sensor 50 y el accionador 51 están fabricados de un material piezocerámico. Sin embargo, se pueden utilizar otros materiales conocidos, tales como materiales piezoeléctricos (PVDF, PMA, etc.), materiales piezorresistivos o materiales magnetorrestrictivos, por ejemplo. Se pueden emplear varios otros sensores dentro de la infraestructura, que incluyen, pero sin limitarse a, sensores que miden la tensión, la deformación, la temperatura, la humedad, la aceleración, el movimiento, la radiación o los campos eléctricos y magnéticos.

El par sensor 50/accionador 51 puede comprender una única oblea piezoeléctrica, o más de una oblea piezoeléctrica. El material piezoeléctrico específico utilizado para la oblea 29 puede ser PZT-5A para reducir la dependencia del comportamiento con la temperatura, si bien serían aceptables asimismo otras calidades de PZT, tal como PZT-5H. Los elementos piezoeléctricos son moldeados por inyección, mecanizados o bien microfabricados en procesos de adición o bien de sustracción, a la geometría deseada, habitualmente menor de 1" de diámetro. Son posibles y se contemplan otras dimensiones, y pueden variar en función de la optimización de una aplicación.

Los sensores 50 incorporados en los nodos 5 se utilizan en una infraestructura para monitorizar defectos en un material o en una estructura. Se puede utilizar uno o más de un nodo 5. Se pueden colocar diversos tipos de sensor en una estructura, juntos o por separado incluyendo, pero sin limitarse a, sensores que miden la tensión, la deformación, la vibración, la acústica, la temperatura, la humedad, la aceleración, la radiación, los campos eléctricos o magnéticos, la luz y/o el movimiento. Además, los sistemas de infraestructura de los nodos 5 pueden estar montados en superficie o integrados para aplicaciones que incluyen, por ejemplo, monitorización de la salud estructural, evaluación no destructiva, monitorización, vigilancia o seguridad de la salud durante el uso.

Haciendo referencia a las figuras 6A y 6B, uno o más de un nodo 5 se pueden situar en un sistema o estructura para detectar daños en un material o en una configuración estructural. En la figura 6A, una arquitectura de detección de daños cableada está situada en una estructura 122. Por ejemplo, la estructura 122 puede ser un panel en el cuerpo de un aeroplano. Los nodos 5 están situados a lo largo de la estructura 122. Los conectores 124 permiten la comunicación entre nodos 5.

En la figura 6A, una versión "cableada" de una infraestructura incluye un chip estándar de comunicación para proporcionar la alimentación y transferencia de datos digitales entre un ordenador central, que controla cada nodo en el sistema, y la infraestructura de sensores. Esto se consigue utilizando un bus USB, RS485 o CAN. Son posibles asimismo otras realizaciones que soportan transferencia de datos digitales sobre largas distancias. Se utiliza un conector mini-USB para montar la PCB 22 en el receptáculo 10, y para conectar cada nodo del sensor 5 entre sí y al procesador central. Los nodos cableados 5 pueden estar en cadena margarita entre sí para transferir datos o la alimentación, o conectados a un puerto USB del ordenador a través de un adaptador de protocolos. Los sensores pueden estar en cadena margarita para reducir la longitud de los cables, la complejidad y el coste, así como por otras razones. Para estructuras mayores, se conectan en cadena margarita grupos de nodos de sensor cercanos, y se conectan a una central, a continuación se retransmiten al procesador central, que es el ordenador que controla colectivamente cada nodo del sistema, donde un nodo se define como una unidad de infraestructura de sensor individual.

Internamente, los componentes electrónicos de la infraestructura de sensores están conectados a conectores mini-USB a cada lado del nodo del sensor, para facilitar conectividad de bus CAN y conexión en cadena margarita al nodo vecino más próximo. Se utiliza la fuente de alimentación de 10 Vpp USB estándar, así como un cable USB estándar, si bien pueden ser utilizados otros cables adecuados para soportar varias condiciones severas y especializadas. Los sensores de detección de daños se pueden montar en superficie en estructuras en las que se realiza la monitorización de la salud. Alternativamente, los sensores de detección de daños pueden estar integrados en estructuras para conseguir la monitorización de la salud.

Haciendo referencia a la figura 6B, los nodos 5 están situados a lo largo de una estructura 142. La versión inalámbrica de la infraestructura incluye un transceptor inalámbrico para recibir comandos y transmitir datos, y puede no necesitar ningún otro tipo de conector. Se puede cargar remotamente el software y las microinstrucciones en el microprocesador utilizando el protocolo inalámbrico. Los nodos inalámbricos 5 pueden pasar información a los nodos vecinos más cercanos o a otros nodos cercanos, en modo brigada de incendios hasta que los datos alcanzan el procesador central. Los datos se pueden pasar de un nodo a otro de manera redundante.

Los métodos de detección de daños utilizan la infraestructura cableada o la inalámbrica para determinar la presencia de daños en una estructura. Los métodos de detección de daños pueden ser utilizados asimismo para determinar el tamaño, la forma, el tipo, la posición y la extensión del daño en una estructura o material, así como la criticidad del mantenimiento, de la reparación o de la sustitución. Por ejemplo, los métodos incluyen ondas de Lamb, análisis modal, emisión acústica, monitorización de la deformación/ tensión, medición de la temperatura y de la aceleración. Cada uno de los métodos de detección de daños puede utilizar un único par accionador 51/sensor 50 que mide en diferentes frecuencias y muestras de tiempo. Se pueden conseguir métodos de detección cambiando la frecuencia de accionamiento, la frecuencia de adquisición y los filtros. Además, para conservar la energía se pueden utilizar métodos pasivos (tales como esfuerzo y/o emisión acústica) para desencadenar métodos activos (tales como

respuesta de frecuencia y ondas de Lamb). Se pueden utilizar modos activos a intervalos establecidos o con pruebas de comando de usuario. Los métodos de detección pueden incluir métodos activos intermitentes, que pueden buscar información detallada. Los métodos pasivos pueden estar a la espera de eventos que pueden desencadenar métodos activos de detección.

5 En funcionamiento, haciendo referencia a la figura 7, con referencia además a las figuras 1 a 6, un proceso 200 para detectar daños en un material o estructura utilizando un nodo 5 incluye las etapas mostradas. Sin embargo, el proceso 200 es solamente ejemplar y no limitativo. El proceso 200 se puede alterar, por ejemplo, añadiendo, eliminando o reordenando etapas.

10 En la etapa 202, se sitúa un nodo 5 en la superficie de un material o de una estructura cuya integridad estructural se debe probar o monitorizar. Preferentemente, se distribuyen una serie de nodos a lo largo de una estructura y estos funcionan conjuntamente. El nodo 5 puede estar integrado alternativamente en un material o estructura para llevar a cabo la detección. Aunque el sistema puede funcionar continuamente, las personas pueden acceder al sistema para realizar inspecciones cuando se solicite.

15 En la etapa 204, el nodo 5 recoge datos relacionados con la estructura a la que está unido. El nodo 5 puede recoger datos pasivamente, por ejemplo, utilizando métodos de deformación y de emisión acústica. Los métodos pasivos de detección de daños se pueden utilizar continuamente para detectar la presencia de daños en la estructura. Los métodos pasivos son generalmente los que funcionan detectando respuestas debidas a perturbaciones de condiciones ambientales. La monitorización de la deformación/deformaciones se utiliza para registrar esfuerzos por encima del límite de diseño, y se puede utilizar asimismo para desencadenar métodos de detección más sofisticados. Al analizar los datos a escalas de tiempo menores, la emisión acústica se puede llevar a cabo de manera pasiva para detectar y registrar eventos de impacto y aproximar la energía de impacto. Los nodos 5 pasan la información recogida a una unidad de procesamiento local, en la etapa 206.

20 Son registrados la deformación y/o los eventos acústicos anómalos, tal como se muestra la etapa 208. Las condiciones que difieren de las condiciones ambientales de una estructura se pueden registrar y analizar posteriormente. Para determinar los daños, se realiza una comparación con una medición de referencia.

25 Cuando se han detectado eventos anómalos, se activa un método de detección activa en el nodo 5, etapa 210. Cuando se encuentran datos anómalos, se inician métodos activos tales como técnicas de respuesta de frecuencia y de ondas de Lamb. Los métodos activos se utilizan para proporcionar más información acerca del tipo, de la severidad y de la posición del daño. Los métodos activos utilizan para funcionar, por ejemplo, una energía suministrada externamente en forma de tensión o de onda electromagnética. Ejemplos de métodos activos incluyen, pero no se limitan a, mediciones de impedancia eléctrica y magnética, corrientes parásitas, fibras ópticas que utilizan una fuente de luz láser, análisis modal y propagación de ondas de Lamb. Los métodos activos pueden ser desencadenados mediante un evento detectado por los métodos pasivos. Como alternativa o simultáneamente, se pueden llevar a cabo métodos activos a intervalos de tiempo predeterminados o iniciados por un operario.

30 En la etapa 212, se recogen datos desde el modo activo de detección para verificar daños. En un sistema que utilice más de un nodo 5 para la detección, una vez que un solo nodo 5 ha recogido daños, los nodos cercanos recogen datos para ayudar a confirmar la presencia y severidad de los daños, etapa 214. En la etapa 216, se pasan los datos de un nodo 5 a un nodo 5, y a una unidad central de procesamiento para su interpretación. Por ejemplo, se pueden pasar la totalidad de los datos desde cada nodo 5. Los datos se pueden pasar el modo brigada de incendios, de tal modo que se pasan sustancialmente todos los datos de un nodo a otro dentro del sistema. El tipo, la severidad y la posición de los daños se pueden comunicar a otras personas, así como las acciones propuestas.

35 En algunos métodos de la invención, se puede utilizar una separación fija entre el accionador 51 en un primer nodo 5 y el sensor 50 en un segundo nodo 5, para calcular la velocidad de las ondas en un material, en la situación actual del material. El cálculo de la velocidad de las ondas auto-calibra el sistema y puede reducir la necesidad de determinar cálculos de velocidad de las ondas obtenidos analíticamente. El proceso de calibración puede tener lugar antes de cada medición de prueba. En base al proceso de calibración, el sistema realiza una autocompensación de los efectos de la temperatura, la humedad, la deformación o la fluencia. Por ejemplo, la distancia fija entre el accionador y el sensor dividida por el tiempo de vuelo de la onda entre el accionador y el sensor determina la velocidad de la onda. La onda puede ser, por ejemplo, una onda de superficie, de cizalladura, de Raleigh, de Lamb o de otro tipo a utilizar en el cálculo de la velocidad de la onda. Se puede utilizar autocompensación para determinar el estado de la estructura, por ejemplo térmico, higral o de deformación. Asimismo, midiendo la impedancia y otros datos característicos tales como la energía total y el espectro de frecuencias del accionador mientras está siendo excitado, se puede llevar a cabo un autodiagnóstico para detectar un funcionamiento irregular.

40 Se pueden llevar a cabo métodos activos de detección de daños utilizando un único nodo 5 de detección de daños o bien una red de varios dispositivos 5 que funcionan independientemente o en colaboración. Cuando se utiliza un único nodo 5, se utiliza una operación de tipo impulso-eco, en la que la estructura que se está monitorizando o probando es excitada por un accionador, y mediante un sensor situado conjuntamente se mide una respuesta o las reflexiones. En el caso de utilizar múltiples nodos 5, la detección de daños se puede llevar a cabo asimismo mediante impulso-eco, considerando que cada nodo 5 recoge independientemente datos de respuesta o de reflexión, que se fusionan entre sí para mapear posiciones de los daños. Como alternativa, cuando se utiliza más de un nodo 5, se puede utilizar asimismo un método de emisión-recepción (pitch-catch), considerando que un

accionador de cada nodo 5 excita las estructuras que están siendo monitorizadas o probadas, y los sensores de uno o varios nodos del dispositivo 5 diferentes miden la respuesta transmitida para determinar la situación de la estructura. El dispositivo 5 en el que se produce el accionamiento se denomina el nodo maestro. Cuando se utiliza el método de emisión-recepción, la designación de nodo maestro rota de manera iterativa a través de cada uno de los diversos nodos 5, de tal modo que se pueden recoger combinaciones de funciones de transferencia. El método preferido es utilizar simultáneamente los métodos tanto de impulso-eco como de emisión-recepción. Este caso es similar al método de solamente emisión-recepción descrito anteriormente, si bien en este caso los datos reflejados desde el sensor del nodo maestro son recogidos asimismo para ser fusionados con la totalidad de los otros datos.

Las pruebas de monitorización estructural se facilitan con la electrónica de la PCB 22. El microprocesador inicia la prueba activando el generador de funciones arbitrarias para excitar el accionador en el nodo 5 e iniciando la recogida de datos mediante el registrador de datos en la PCB 22. Las pruebas pueden ser iniciadas remotamente por un usuario, estar preprogramadas para ser ejecutadas a ciertos intervalos, o ser desencadenadas por métodos pasivos. Los datos digitales de la memoria tampón son recogidos por un procesador central mediante un enlace de datos cableado o inalámbrico. Los datos son procesados por el procesador central. El microprocesador en la PCB 22 puede proporcionar procesamiento para evaluar daños localmente.

Una vez que se han recogido datos de tensión mediante uno de los métodos descritos anteriormente, existen varias maneras de descomponer estos datos con el fin de determinar el estado de la estructura. En primer lugar, los datos se pueden filtrar y se puede eliminar el ruido utilizando filtros de paso banda para eliminar ruido eléctrico de alta frecuencia y vibraciones de deriva y mecánicas de baja frecuencia. Se pueden utilizar algoritmos que comparan los niveles de energía integrados, recibidos en los sensores, para determinar si hay daños presentes; la energía reflejada aumentada y la energía transmitida reducida son ambas métricas de daños. Esto sigue con una evaluación del tiempo de vuelo de la reflexión, para determinar la posición del daño multiplicando estos resultados por la velocidad de la onda. Se puede realizar una transformada de Fourier rápida para inspeccionar el ancho de banda de la frecuencia resultante, lo que se utiliza para determinar el tipo de daño presente en la estructura. Utilizando la física de tres sensores independientes para evaluar el daño, por ejemplo, se puede minimizar la incidencia de falsos positivos.

En un sistema de dispositivos de detección de daños incorporado en una estructura, la activación del dispositivo de detección 5 se produce en un nodo maestro. La detección se produce en todos los demás nodos. Con la utilización de un único nodo maestro se puede estimar la distancia al daño, y se puede estimar asimismo el ángulo desde el nodo maestro en el que se ha detectado el daño. El procedimiento de detección de daños se puede ejecutar iterativamente haciendo que cada nodo sea el nodo maestro. Con la utilización de múltiples nodos, se puede triangular el daño.

La invención proporciona una infraestructura para un sensor o accionador que funciona utilizando una fuente de alimentación compatible, tal como un piezoeléctrico, una lámina resistiva, MEMS o corrientes parasitarias, por ejemplo. La infraestructura descrita en esta memoria proporciona una infraestructura de "caja negra" que permite que los datos y la alimentación fluyan entrando y saliendo de una red distribuida de sensores dispuestos en cadena margarita, reduciendo el cableado, el tiempo de instalación y el coste. La infraestructura se puede fabricar en masa a bajo coste, y personalizar para aplicaciones en software. El dispositivo puede ser utilizado para llevar a cabo métodos de detección de daños tales como ondas de Lamb, respuesta de frecuencia, emisión acústica y monitorización de la deformación/tensión para cualquier material o estructura conocidos.

Los expertos en la materia reconocerán, o serán capaces de determinar utilizando tan sólo la experimentación rutinaria, numerosos equivalentes a los procedimientos específicos descritos en la presente memoria. Se considera que dichos equivalentes están dentro del alcance de la invención. Se pueden realizar diversas sustituciones, alteraciones y modificaciones a la invención sin apartarse del espíritu y el alcance de la invención. Otros aspectos, ventajas y modificaciones están dentro del alcance de la invención. Los contenidos de todas las referencias, patentes concedidas y solicitudes de patentes publicadas, citadas a lo largo de esta descripción se incorporan a la misma como referencia. Los componentes, procesos y métodos apropiados de estas patentes, solicitudes y otros documentos pueden ser seleccionados para la invención y sus realizaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (5) para su utilización en la detección de un evento en una estructura, comprendiendo el dispositivo:
- un encapsulado de sensor (10), comprendiendo el encapsulado:
- 5 un sensor (50);
- un accionador (51) situado sustancialmente en el mismo plano que el sensor (50) en el interior del encapsulado de sensor (10), estando configurado el accionador (51) para excitar formas de onda en la estructura sensibles a una excitación, y estando configurado el sensor (50) para recibir ondas reflejadas propagadas por la estructura en respuesta a las formas de onda; y
- 10 una placa de circuito impreso (22) en comunicación, por lo menos, con uno del sensor (50) y el accionador (51), comprendiendo la placa de circuito impreso (22):
- un microprocesador construido y dispuesto para recoger datos, por lo menos, desde uno del sensor (50) y el accionador (51);
- 15 un generador de señal construido y dispuesto para proporcionar la excitación, por lo menos, a uno de sensor (50) y el accionador (51); y
- un amplificador para modificar la excitación.
2. El dispositivo según la reivindicación 1, en el que el sensor (50) incluye un sensor que mide por lo menos una de la tensión, la deformación, la vibración, la acústica, la temperatura, la humedad, la presión, la aceleración, la posición, la rotación, la radiación, los campos eléctricos, los campos magnéticos, la luz o el movimiento.
- 20 3. El dispositivo según la reivindicación 1, que comprende además un conector (26, 28) para proporcionar la alimentación y una conexión de datos entre el dispositivo y un bus de red de sensores.
4. El dispositivo según la reivindicación 3, en el que el conector (26, 28) incluye un conector micro-USB.
5. El dispositivo según la reivindicación 1, que comprende además un chip inalámbrico (58) situado en el encapsulado de sensor (10).
- 25 6. El dispositivo según la reivindicación 5, que comprende además una batería de iones de litio de película delgada (59) para suministrar la alimentación al dispositivo.
7. El dispositivo según la reivindicación 1, en el que el microprocesador está configurado para recoger datos analógicos, por lo menos, desde uno del sensor (50) y el accionador (51), y está configurado además para transformar los datos analógicos en datos digitales.
- 30 8. El dispositivo según la reivindicación 7, en el que los datos digitales se almacenan localmente.
9. El dispositivo según la reivindicación 1, en el que el encapsulado de sensor (10) incluye un anillo cilíndrico exterior (16) y una tapa (18), y en el que el sensor (50) y el accionador (51) están situados en el anillo cilíndrico (16).
10. El dispositivo según la reivindicación 1, en el que el sensor (50) tiene por lo menos una de una geometría que incluye triangular, circular, semicircular, cuadrada, rectangular, octogonal, hexagonal y de sector circular.
- 35 11. El dispositivo según la reivindicación 1, en el que el accionador (51) tiene por lo menos una de una geometría que incluye triangular, circular, semicircular, cuadrada, rectangular, octogonal, hexagonal y de sector circular.
12. El dispositivo según la reivindicación 1, en el que el accionador (51) rodea el sensor (50) sustancialmente en su totalidad.
- 40 13. El dispositivo según la reivindicación 1, en el que el sensor (50) rodea el accionador (51) sustancialmente en su totalidad.
14. El dispositivo según la reivindicación 1, que comprende además una serie de sensores (50) situados conjuntamente, por lo menos, en una oblea piezoeléctrica (29), donde dicha serie de sensores (50) están rodeados colectivamente, por lo menos en parte, por el accionador (51).
- 45 15. El dispositivo según la reivindicación 1, que comprende además una serie de accionadores (51) situados conjuntamente, por lo menos, en una oblea piezoeléctrica (29), donde dicha serie de accionadores (51) están rodeados colectivamente, por lo menos en parte, por el sensor (50).
16. El dispositivo según la reivindicación 1, en el que el sensor (50) proporciona sustancialmente una detección radial de 360 grados de incidencias estructurales en un material.

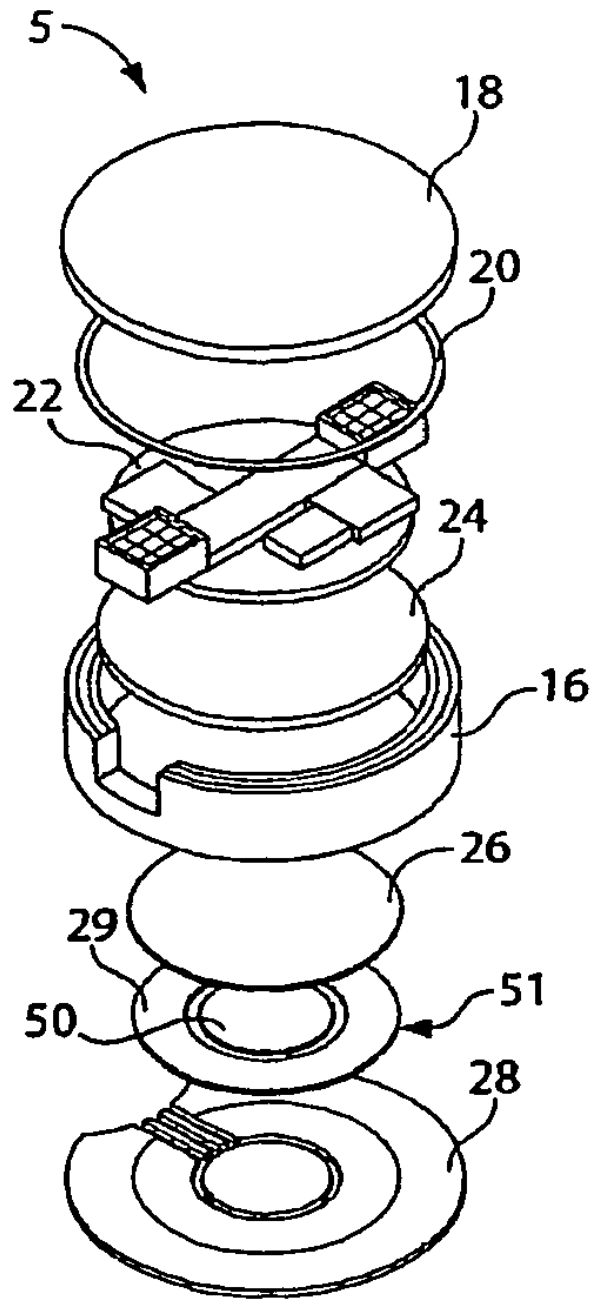


Fig. 1

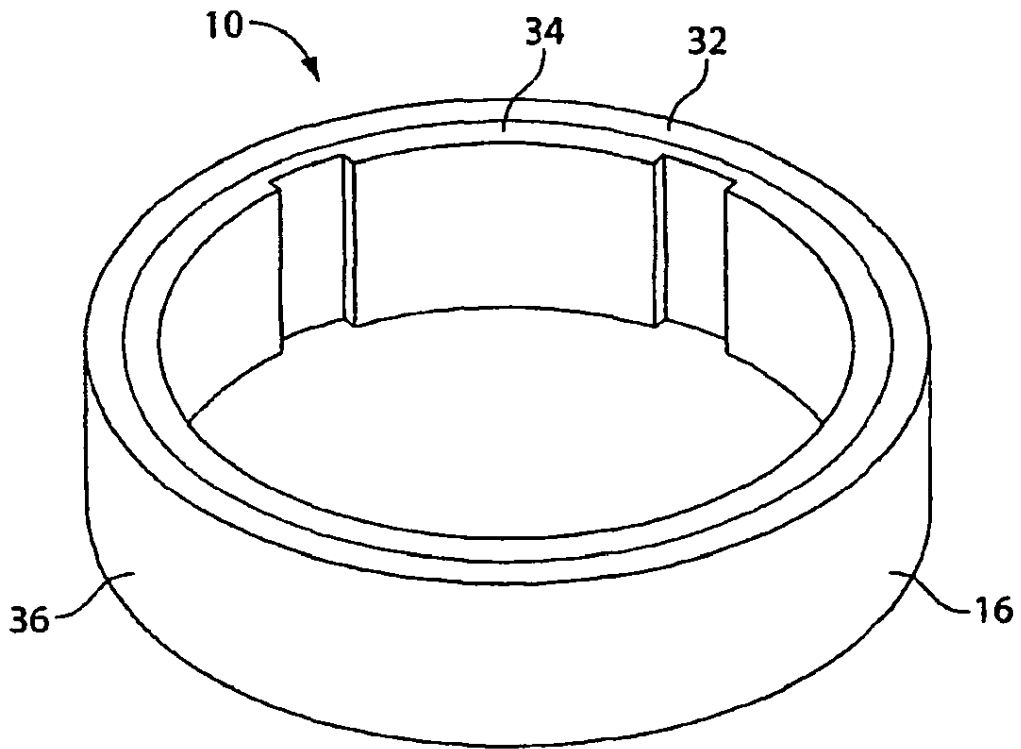


Fig. 2

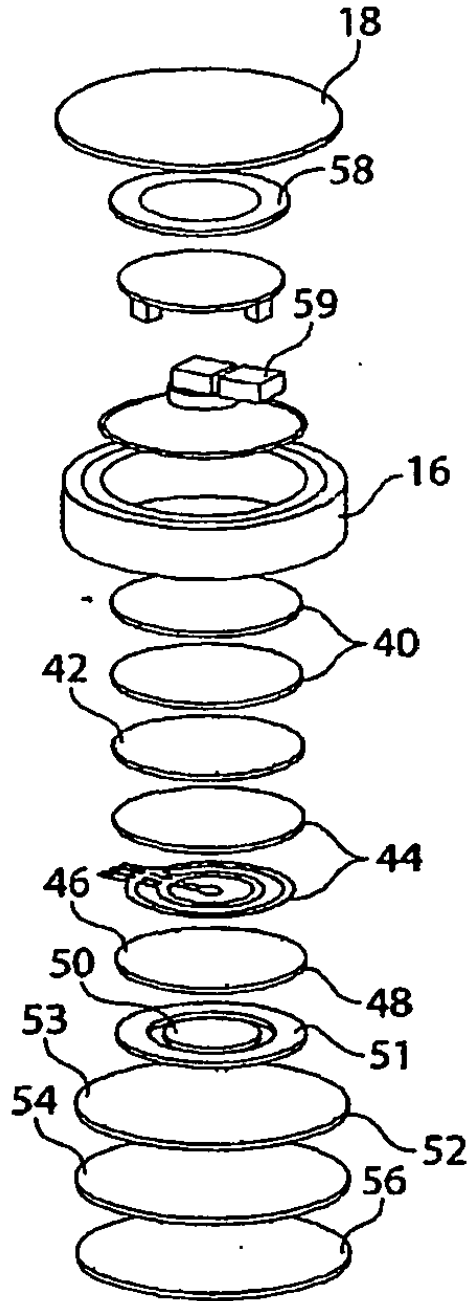


Fig. 3

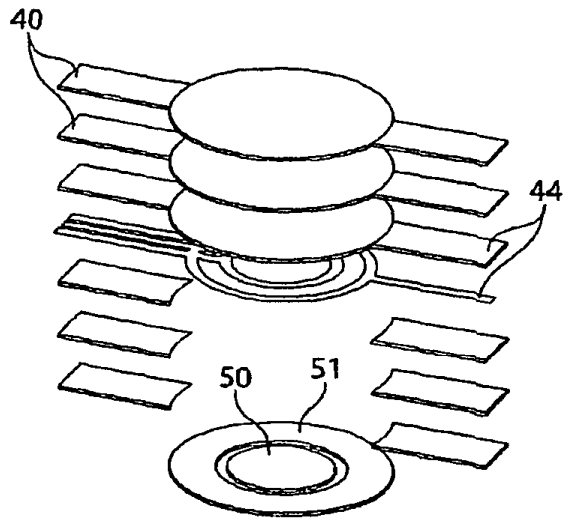


Fig. 4A

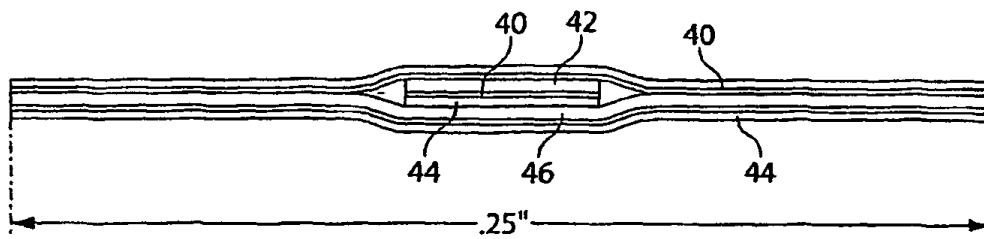


Fig. 4B

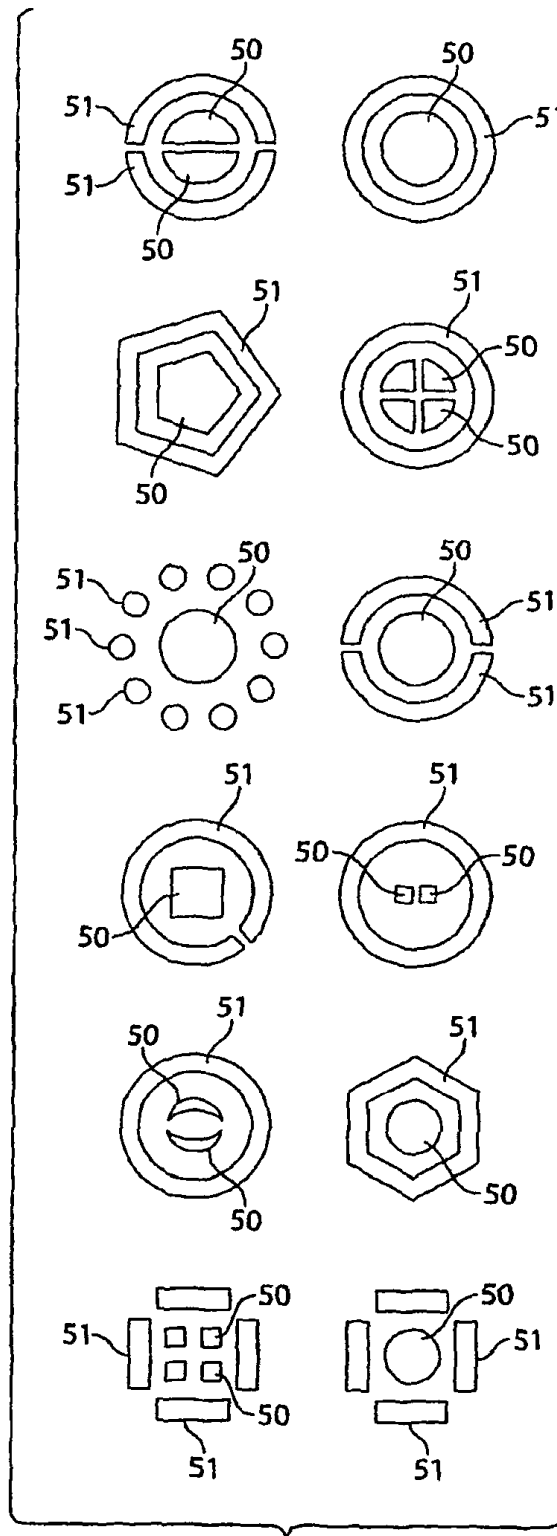


Fig. 5A

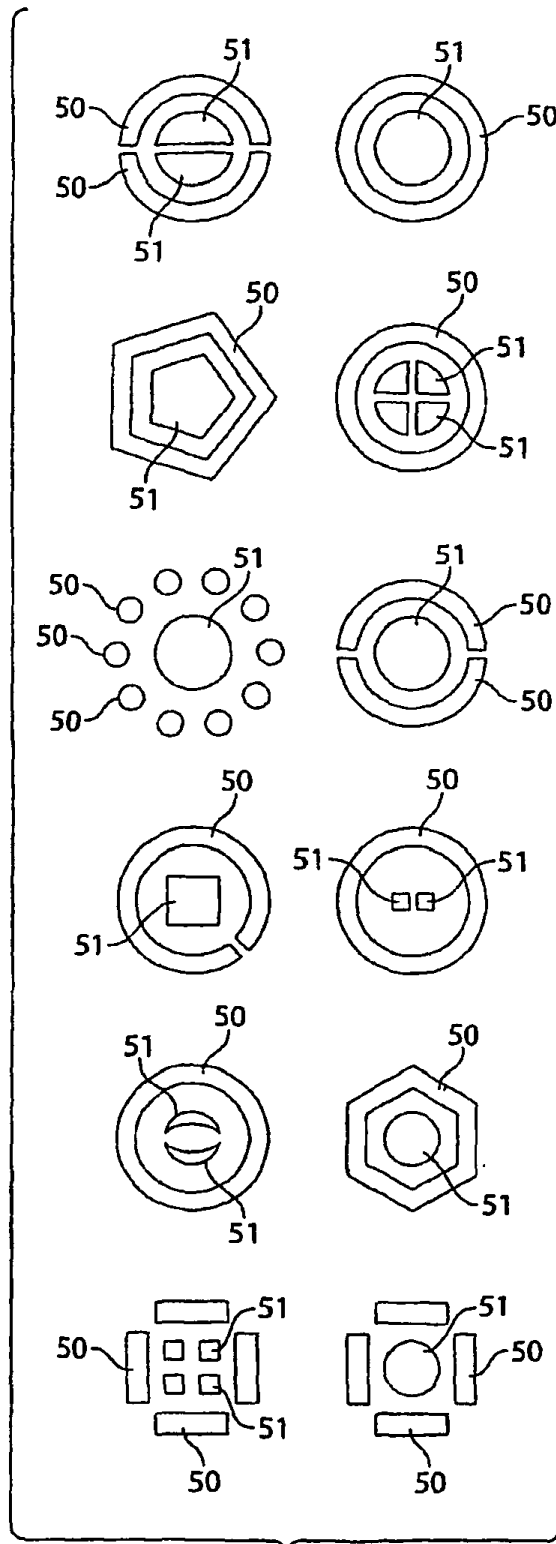


Fig. 5B

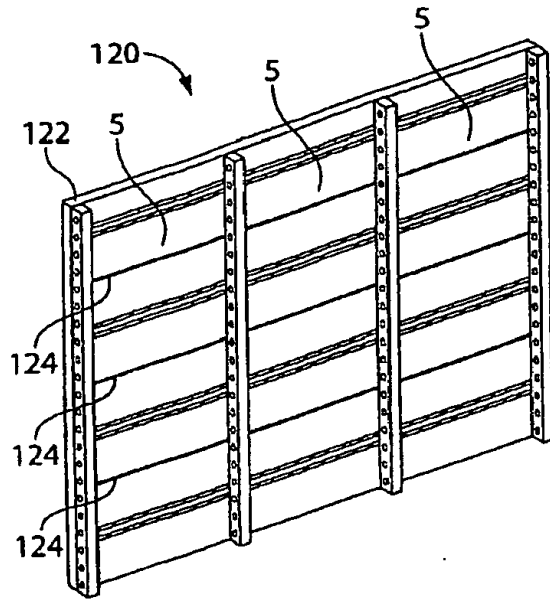


Fig. 6A

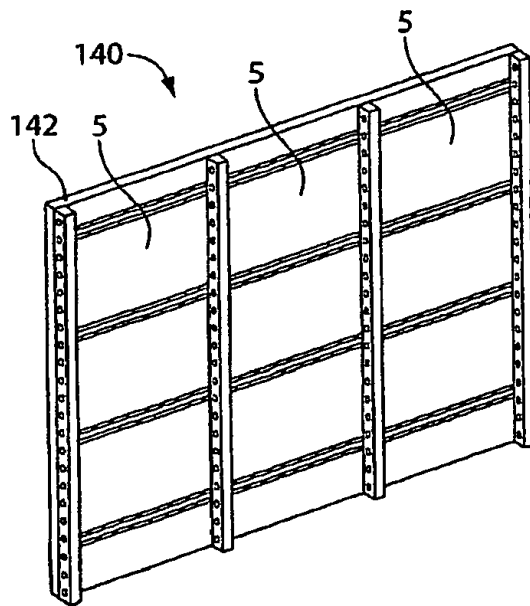


Fig. 6B

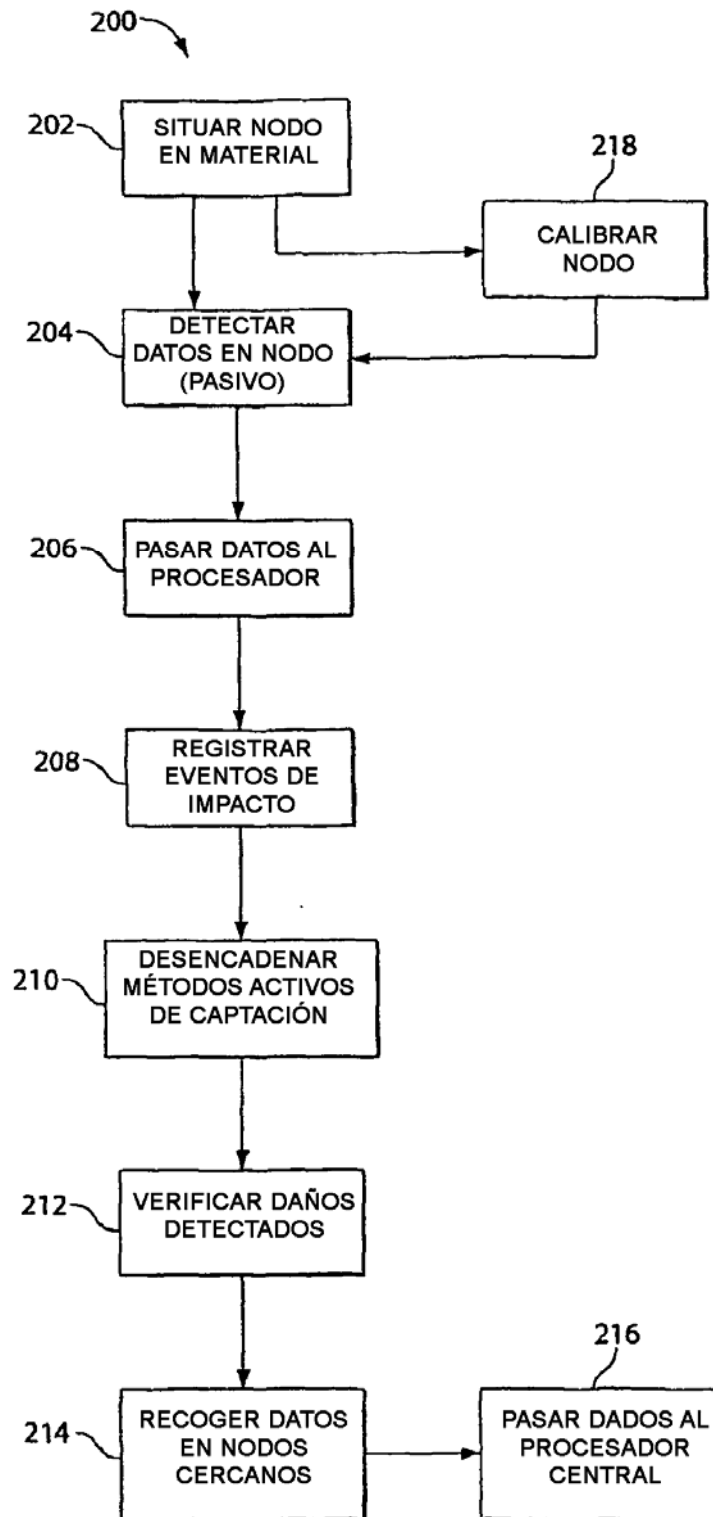


Fig. 7